

## ⑫ 公開特許公報(A)

昭63-138799

⑬ Int. Cl.

H 05 K 7/20  
H 01 L 23/44

識別記号

庁内整理番号

W-7373-5F  
6835-5F

⑭ 公開 昭和63年(1988)6月10日

審査請求 未請求 発明の数 1 (全8頁)

⑮ 発明の名称 冷却回路モジュール

⑯ 特 願 昭62-270521

⑰ 出 願 昭62(1987)10月28日

優先権主張 ⑱ 1986年11月28日 ⑲ 米国(US) ⑳ 935680

㉑ 発 明 者 グレゴリー・マーチン・クライスラー アメリカ合衆国ニューヨーク州ボキブシイ、マハー・ドラ  
イブ11番地

㉒ 発 明 者 リチャード・チャオ・フアン・チュ アメリカ合衆国ニューヨーク州ボキブシイ、サン・レーン  
4番地

㉓ 発 明 者 ロバート・エドワード・シイモンズ アメリカ合衆国ニューヨーク州ボキブシイ、シャムロッ  
ク・サークル16番地

㉔ 出 願 人 インターナショナル・ビジネス・マシーンズ・コーポレーション アメリカ合衆国10504、ニューヨーク州 アーモンク(番  
地なし)

㉕ 代 理 人 弁理士 篠田 文雄 外2名

## 明 細 書

1. 発明の名称 冷却回路モジュール

2. 特許請求の範囲

誘電性の液体冷媒(20)を保持するのに適した外箱(12)と、

1個以上の発熱するデバイスを持つX-Y平面のアレイ、上記アレイから直角方向(Z方向)に配置された熱伝達ハット、上記アレイから上記ハットへ熱を伝達するための手段、を夫々が有する複数個の回路モジュール(14)と、

上記複数個の回路モジュールを上記外箱内に支持し、各回路モジュールを通過して予定方向(例えばX方向)に上記液体冷媒を循環させるための通路(25、26、27)を限定するための手段と、

上記ハットからZ方向に延びるフィンであって、X方向に延びる液体冷媒流路を限定して、冷媒の温度が上流から下流へ向かう方向に流路沿いに増加するようにしたフィン(30)と、

上記の冷媒を上記流路内に閉じこめるため上記フィンを覆うように配置した囲い板(53)とより成り、

上記フィンは上記流路の断面積が上流から下流方向に向かって減少することにより液体冷媒の流速が増加するような形状または配置とし、上記回路モジュールの上流端及び下流端間の液体冷媒の温度上昇に対して補償するようにしたことを特徴とする冷却回路モジュール。

3. 発明の詳細な説明

A. 産業上の利用分野

この発明は、回路モジュール上に取り付けたフィンを通して循環する誘電性液体に浸すことにより冷却される、半導体回路モジュールに関する。

B. 従来技術

本発明は様々な回路モジュールに使用できるが、好ましい実施例は、熱伝導モジュール(TCM)と呼ばれる回路モジュールの変更である。TCMは周知であるが、本発明にとくに該当する構成部品および用語を再検討することは有益である。T

TCMは、たとえば米国特許第3983123号に示されている。

「モジュール」の語が示唆するように、TCMはデータ処理装置中の反復単位である。いくつかのTCMが回路板上に長方形アレイとして装着される。回路板とTCMの組立体を「回路板組立体」と呼ぶ。1個以上の回路板組立体と、他の構成部品とを別のエンクロージャに入れたものを、「処理素子」と呼ぶ。

通常のTCMに関するこの説明では、回路板自体が水平面に装着されていると仮定して、「上側」および「下側」の語を使うと便利である（しかし通常、回路板は処理装置フレーム内で垂直面状に保持される）。TCMは、チップ・キャリアを備えており、チップ・キャリアは、一片が拾数cmの薄い方形をしている。チップ・キャリアの別名を「基板」という。チップ・キャリアの上面にはんだパッドが配置され、各チップは行列アレイとしてはんだパッドに電気的および機械的に接続される。チップ・キャリアには、100個ほどのチッ

プが装着される。チップ・キャリアの下面からコネクタ・ピンが延びて回路板上のソケットに挿入され、チップ・キャリア内部の導体パターンとの間はんだパッドとコネクタ・ピンの間の導電性経路となる。

チップ・キャリアとチップの上に、「ハット」または「キャップ」と呼ばれる金属構造がはめられる。チップ・キャリアとハットの長方形の辺にシールが形成され、これらの構成要素がチップのエンクロージャとなる。ハットは、ピストンと呼ばれる金属製円筒を支持する。ピストンは、チップからハットに熱を伝えるため、ばねで押さえられてチップ上に静止する。

より一般的な見方をすると、TCMは、発熱する半導体デバイスの平面状アレイと、デバイスから出る熱をアレイ平面に直角方向にモジュールの一部をなす熱伝達構造体へと伝達する手段とを備えた回路モジュールである。この熱伝達構造体の細部は無視して、「ハット」の名前をモジュールのこの部分に取っておくと都合である。また、

そうすれば、この一般化した構造体に対する座標系を定義するための、本発明の説明が簡単になる。発熱アレイの平面をX-Y軸平面と呼ぶ。X座標とY座標は、それぞれチップ・キャリアの長方形の二片、またはチップ・アレイの行と列に対応する。後で説明するが、このどちらか一方の方向に沿って冷媒が流れる。アレイからハットに向かう方向を、Z方向と名づける。これは、アレイから熱が流出する方向である。

以上説明した通常の構成部品は、本発明の好ましい回路モジュール中で使用される。本発明の一目的は、通常のTCMのもう1つの構成部品、すなわちコールド・プレートをなくすことである。コールド・プレートは、ハットの頂部に取り付け、ハットからコールド・プレートに熱が伝達される。コールド・プレートは、冷却システムから供給される冷水を運ぶ内部通路を備えている。コールド・プレートは、水の有利な熱伝達特性を発揮させるが、チップや他の電気的構成部品を水から隔離する。米国特許第3481393号を参照のこと。

離れた構成部品間を電気信号が伝播するには相当の時間がかかるため、モジュールはできるだけ高密度にすべきである。本発明の一目的は、TCM回路板を互いに積み重ねて高密度の3次元アレイ（より一般的にはZ方向）にすることである。

通常のTCM構造の3次元アレイでは、コールド・プレートがあれば、隣接する回路板相互間のスペースのかなりの部分を占めることになる。コールド・プレートは、冷水システム用のホース継手を備え、このホース継手はハットの上方にかなりのスペースを必要とする。本発明の一目的は、コールド・プレートを用いずにTCMを冷却し、かつコールド・プレートと関連するホースがあっても実現できない狭い空間にTCM回路板を装着することである。

上記の議論では、TCM回路板の3次元配列に重点を置いたが、本発明はこの手法のみに限られるものではない。TCMの高密度X-Yアレイも、応用の観点からすれば同様に有効である。

従来技術では、回路モジュールを誘電性液体に

浸して冷却することが提案され、またTCMのコールド・プレートに代りにフィンを用いることが提案されている。発明者等は本発明の新しい回路モジュールにこの2つの技術を採用した。

#### C. 発明が解決しようとする問題点

従来の浸漬冷却法に伴う克服すべきいくつかの問題を理解するには、まず浸漬冷却式TCMのフィンを従来のTCMのコールド・プレートと比較するとよい。2つのモジュールのすべてのチップが同一であると仮定する。すなわち、それぞれ同じ速度で熱を発生し、冷却システムはすべてのトランジスタの接合部の温度を所定の範囲内に保たなければならない。(通常、異なるチップは異なる電力で動作し、過冷却防止のため、電力が低い方のチップの熱経路の抵抗をより大きくしてある)。

したがって、TCMフィン中を流れる誘電性液体は、そのハットをコールド・プレート付きTCMのハットと同じ温度に保たなければならない、またコールド・プレート中を流れる冷水と同じ速度で熱を除去しなければならない。

りくねった経路を流れ、各チップの上方が特定の温度になる。

コールド・プレート内部の温度分布は、それと等価な組のフィン内部の温度分布に比べてかなり均一である。その理由は、コールド・プレート内では水が曲がりくねった経路を流れることや、横温度勾配がある場合はコールド・プレートの金属塊が熱の横方向拡散を助けることである。言い換えれば、(前述のように電力の低いチップに抵抗を加えるまで)どのチップ位置の熱抵抗(後述)もほぼ同じである。

本発明の一目的は、フィンの基部をできるだけ薄くしてZ方向の実装密度を高めることである。通常それと衝突する本発明の一目的は、入口端部と出口端部の温度をより均一にする、新しいフィン構造を提供することである。

本発明の回路パッケージは、単一の平面アレイとしても有用であり、以下では特定の実施例について説明する。

誘電性液体の熱容量は、水の熱容量よりもずっと小さい。したがって、誘電性液体は、周知のように水がコールド・プレート中を流れる速度よりもその分だけ速い速度でフィン中を循環しなければならない。フィン付きTCMより上流側の誘電性液体の温度は、コールド・プレートの入口での冷水の温度と対応し、フィン付きTCMより下流側の誘電性液体の温度は、コールド・プレートの出口での冷水の温度と対応する(対応する温度は必ずしも等しくなくてよいが、入口温度と出口温度の範囲は他の要件によって限定される)。

コールド・プレートの効果を示すため、コールド・プレート付きTCMの側面図を描くことができる。等温点を水平線で結ぶと、高温線はチップ中を走り、低温線はハットとコールド・プレートの界面に沿って走り、中間線は大体水平となる。コールド・プレート自体は、冷水がある点から入り暖まった水が別の点から出るため、もっと複雑な温度分布を示す。TCMの上面図を描くと、チップ・アレイは大体均一な温度になり、冷水が曲が

#### C. 問題点を解決するための手段

本発明の浸漬冷却式TCMは、フィン相互間の経路中を冷却液が流れるとき冷却液の速度を増大させる、新規なフィンおよび配板の構造を備えている。フィンから去って行く誘電性液体の流速は、フィンに入る液体の流速と同じであり、この流速は、通常の浸漬冷却式回路モジュールについて先に説明したように、TCMの冷却要件と誘電性液体の特性によって決まる。

別の観点から考えると、フィンの低温端での冷媒の速度は、フィンの高温端での速度よりも小さい。この速度増加により、熱伝達性能が向上し、冷媒の温度上昇を補償する。冷媒速度は、上流側から下流側に向かって位置が移るにつれて、あるいは機能的観点から見れば温度の上昇につれて増大する。熱抵抗は、コールド・プレートの場合と同じく、どのチップ位置でもほぼ同じである。

本発明の一実施例では、フィンの高さが下流側に向かって減少する。この構造にすると、流れの経路の断面積が減り、したがって冷媒速度が増大

する。

本発明の第2の実施例では、フィンの高さは冷媒の流れる方向で一様であるが、流れの経路の断面積を減らすため、下流側に追加のフィンを設置する。

第2の実施例は、熱伝達用フィンの面積が増加するという利点がある。第1の実施例では、速度増加がフィン面積の損失を相殺して余りある。どちらの実施例でも、囲い板が冷媒をフィン領域内部に閉じ込める。

#### D. 実施例

第1図ないし第4図には、外箱（エンクロージャ）12、TCM回路板15上に装着されたTCM14、TCM回路板を垂直スタックとして保持する支持構造体17、誘電性液体の冷媒20、および冷媒を矢印25ないし27で示すようにTCM中に流す構成部品22ないし24が示されている。好ましい冷媒は非沸騰性の炭化水素（フルオロカーボン）である。外箱12は通常の上げ床28に取り付けられる。第1図ないし第4図には、

い。各TCMは電源を備えており、第1C図の上面図では、電源37がそれと関連するTCMよりも下流側に配置されている。記憶素子38とその電源39は、スペース40内に配置できる。矢印44は、構成部品38と39を通して冷媒が流れる方向を示している。この冷媒の流れは、TCMを通る流れ26と平行である。隔壁43がスペース40をTCMのスタックから分離している。

#### 変形

第1C図の上面図には、一番上の回路板15上に2個のTCM14が示されているが、より一般的な観点からすれば、TCM回路板15は、アレイの各行と列に1個または複数個のTCMがあるTCMのX-Yアレイを備えている。第1C図の方向については、列は垂直にX方向に延び、行は水平にY方向に走っている。1行または1列に複数個のTCMがある場合、冷媒をTCMに送る手段に、冷媒を供給空間34から直接受け取るように各TCMを接続する適当なマニホールド・システムを設けることができる。第1C図の1列（Y方

（囲い板なしの）フィン30も概略的に示されている。フィン30は、後記の任意のフィン組立体を表わす。

第1B図に示すように、冷媒は入口接続部32から外箱12に入り、出口接続部33から出る。両接続部は外箱の底部にあり、したがって冷却装置（図示せず）または配管接続部が上げ床の上にくる。冷却装置は、好都合などの場所に置いてもよく、配管接続部はそれに合わせて配置することができる。バッフル22が外箱12の背壁126と一緒に供給空間34を形成し、またバッフル22中には冷媒をTCMの方へ送るための穴23が設けられている。各構成部品は前壁121から隔置され、冷媒の還流空間35を形成する。外箱修理の際に冷媒を外箱から排出するための適当な手段（図示せず）が設けられる。この構造から、冷媒をTCMに均等にまたは選択した他の何らかの形で分配するための様々な手段が示唆されるはずである。

他の構成部品も外箱内に収容することが好まし

向、冷媒の流れを横切る）に複数個のTCMを配置する場合、適当な量の冷媒が各TCMに供給されるようにバッフル22の穴23をアレンジすることができる。

以上説明した実施態様は、本発明を使用できる様々な処理素子を例示するものである。

#### 第2図のフィンと囲い板

第2図には、フィン52の基部表面50が示されている。囲い板53がフィン52および基部表面50と共に、冷媒をフィンの上流側端部56から下流側端部58に運ぶ流路（チャネル）54を形成している。これらの構成部品をフィン組立体と呼ぶ。フィン組立体の基部は、通常のTCMのハット構造体と一体式にすることが好ましいが、別法として別の基部上にフィンを形成することもできる。より一般的な観点からすれば、フィンは、導電性熱伝達経路中でハットに接続される。第2図のフィン組立体は上流側端部56と下流側端部58が開いている。別法では、フィン組立体の上流側端部（および任意選択で下流側端部）をマニ

ホルド・システムの壁面で閉じる。フィン組立体のこれらの一般的実施態様は、他のフィン組立体で通常のものである。

流路54は、上流側端部56の方が下流側端部58よりも断面が広がっている。第2図のフィン組立体では、この関係は、下流側のフィンの高さを先細にすると実現できる。冷媒は非圧縮性で流路54内に閉じ込められているので、冷媒の速度は上流側から下流側に向かって増加する。この速度増加の効果については次に議論する。

#### 第2図の場合の冷却効果

熱伝達を記述する有名な方程式は  $Q = \eta h A \Delta T$  である。 $Q$ は熱伝達速度(単位W)である。この値は、モジュールに供給される電力によって決まり、上式を満たす $\Delta T$ の値を達成するようにチップ温度が変化(または他のいずれかの項を能動的に調整して、所定のチップ温度を維持する)。 $\Delta T$ は熱伝達過程を駆動する温度差であり、この例ではフィン組立体と冷媒の界面の温度差である。項 $h$ は熱伝達係数であり、この

のであり、下流側のチップの方が冷媒温度が高いとき、チップを均一な温度に保つという問題を例示したものである。

フィン在先細形にすると、熱伝達線面積(上流側から下流側に位置が移るに依じての $A$ の合計)を減少させる効果があり、したがって下流側方向での線熱伝達容量(上流側から下流側に位置が移るに依じての $Q$ の合計)が減少する。これは、予想された効果とは逆の効果である。冷媒速度を増加させると、フィンの効率 $\eta$ がわずかに減少する。しかし、冷媒速度の増加は、上式では係数 $h$ の増加として示される。速度が増加すると(上流側から下流側に位置が移るに依じて) $h$ は充分迅速に増加し、したがって積 $\eta h$ がフィン面積の損失を補償するのに充分なだけ増加する。したがって、フィン組立体の表面温度はこの説明の冒頭で規定したように実質上均一であり、あるいは少なくとも所定の温度範囲内でチップを動作し続けさせるのに充分な程度に均一である。

もう1つの有名な熱伝達方程式は、

例ではフィン組立体中を通る冷媒の速度を含んでいる。また、液体の特性およびフィンの形状(この説明では一定)も含んでいる。 $\eta$ はフィンの熱効率係数である。 $A$ は熱伝達が起こる界面の面積である。この分析では、 $A$ は他の各項がその区域全体ではば均一になるように充分に小さくしてある。特定の区域とそれに関連する項を、下付き数字で区別する。すなわち、 $Q_1$ は増分区域 $A_1$ の熱伝達速度である。フィン組立体全体の面積はすべての増分 $A$ の合計であり、フィン組立体全体の熱伝達速度は、すべての $Q$ の和である。

上流側端部56付近の区域 $A_1$ と下流側端部58付近の区域 $A_2$ を考えてみる。 $A_2$ での冷媒の温度は、冷媒がフィン組立体中を流れるとき熱が冷媒に移るため、 $A_1$ での冷媒の温度よりも必然的に高い。フィン組立体の表面温度は均一なので、下流側の冷媒の温度差 $\Delta T_2$ は、上流側の冷媒の温度差 $\Delta T_1$ よりも小さい。この温度差は、下流側に向かうにつれてほぼ直線的に減少する。この予備の説明はどんなフィン構造にもあてはまるも

$R = (\Delta T) / Q$ である。各増分区域ごとの項 $R$ から、周知の設計手段によりフィンの形状が確定できる。項 $\Delta T$ および $Q$ は、第1式と同様に増分区域に関するものである。ただし、この場合は、フィンを設定する前は、その区域は熱の流れの方向に直角な平面内にある。

フィンの温度は均一である。フィンの長手方向に沿った冷媒の温度は知られている。すなわち、フィンの上流側端部での選択した初期値から下流側端部での選択した最終値まで、直線的に上昇する。したがって、各増分区域ごとに冷媒温度とフィン温度の差として $\Delta T$ を求めることができる。チップはすべてほぼ同じ電力を供給されるため、あるいは基板の単位面積当たりほぼ均一な電力を生じるようにチップが基板上に配置されているため、 $Q$ も均一である。

#### 第3図のフィンと囲い板

第3図において、基板表面50、囲い板53、およびフィン組立体の上流側端部56と下流側端部58は、第2図の説明から知られる。これらの

フィン、第2図のフィン52とは違って、すべて同じ高さであり、下流側に向かうにつれてフィンの数を多くしたいくつかの集合60、61、82の形にフィンを構成することにより、上流側から下流側に向かって流路が狭くなっている。この構成では、徐々に狭くなっていく第2図のフィンの場合とは違って、流路が不連続に狭くなる。

第3図の実施例では、より低密度の集合60中のフィンは、それと隣接するより高密度の集合61中の一部のフィンと整列しかつ分離しており、集合81中のフィンは、それと隣接するより高密度の集合62中のフィンの一部と整列しかつ分離している。別法として、より低密度の集合およびより高密度の集合からフィンを連続させることができ、また均一な密度のフィンで周知のように、隣接する集合相互間でフィンを整列させず分離することもできる。

#### 第3図の場合の冷媒効果

第3図では、下流側に向かうにつれてフィンの数が増加するため、流路(チャネル)が狭くなり、

ができる。

#### 第4図の装置

第4図には、3×3個のTCM14の平面状アレイ、およびこれらのTCMのフィン30中を通る冷媒の平行な流れを確立するためのシステムが示されている。第1A図ないし第1C図と同様に、フィン30は囲み板なしで概略的に示してあり、第2図と第3図のどちらかのフィンを表わす。この装置は、次に説明するように異なる囲み板構造を有する。TCMは、第1A図ないし第1C図の個々の回路板と同様の、共通TCM回路板15に装設されている。

局部的外箱70がTCMと誘電性液体冷媒20を保持する。外箱70は、通常、冷媒から隔離されたより大きな外箱内に取り付けられる。大きな1個の外箱内でいくつかの外箱をスタックし、または他の方法で配列することができる。局部的外箱70は、適当な外壁71、72、73、74、床75、および天井(図示せず)を有する。外箱70は、左下隅に冷媒入口77、右上隅に冷媒出

したがって冷媒速度が増大する。冷媒速度が増大すると、すでに説明したように、 $h$ が増加し $q$ が減少する。またフィンの数が増加すると、熱伝達総面積(上流側から下流側に移るにつれての $A$ の合計)も増加し、したがって下流側方向での熱伝達性能がさらに向上する。

第3図の装置では、面積も冷媒速度もフィン行の各上流側端部で段階的に増加する。フィン行内部での温度分布は、長手方向に沿って均一な通常のフィンの場合の分布と同じであり、フィンは上流側端部で冷たく下流側端部で熱くなる傾向がある。フィン行は、上流側から下流側に向かう方向が十分に短くなっており、したがって温度はチップの冷却に適した所定の限界内に留まり、各段階は冷媒温度の直線的増加の近似となる。

この説明を容易に他のフィン構造に拡張することができる。たとえば、ピン型フィンやオフセット・ストリップ・フィンを第2図に示すように全体的に先細にしたり、流れの方向のフィン密度を第3図に示すように全体的に増加したりすること

口78を有する。

天井はフィンの頂部と接触し、各フィン組立体用の囲み板の一部となる。パッフルのシステムが、第2図および第3図の場合と同じ方式で、各フィン組立体中を通して冷媒を流させる。冷媒の全体的流れは、局部的外箱70を対角線方向に横切って左下から右上に進み、冷媒も同様にモジュールの左下から入って右上から出る。側壁71、72と2つの隔壁80、81は、各TCMの左側の流路83eないし85eおよび右側の流路83rないし85rを形成する。上流側の壁74は入口ヘッダ87の一部となり、下流側の壁73は出口ヘッダ88の一部となる。隔壁89は入口ヘッダ87から出口流路83rないし85rを遮ぐ。入口ヘッダ87に隣接しないモジュールについては、対角線パッフル90があるモジュールの左上端から上側のモジュールの右下端に延びて、TCMの入口端を左側の流路に接続し、またTCMの出口端を出口流路に接続する。

これらの構成部品は、図面に矢印で示すような、

各モジュールのフィン組立体中を通る冷媒の平行な流れをもたらす。この平行な流れは、第4図の壁とバッフルに様々な修正を加えて、たとえば各TCMごとに別々の局所的外箱を設けることにより実現できる。これらの構造体を積み重ねて3次元パッケージをもたらすことができる。

### その他の実施例

以上の好ましい処理素子の説明から、本発明の様々な適用例が示唆されるはずであり、また第2図および第3図の特定のフィン組立体ならびにそれに関連してこれらのフィン組立体中での熱伝達の説明から、本発明の精神と特許請求の範囲の所期の範囲内でこの新しいフィンを実現する様々な方法が示唆されるはずである。

### E. 発明の効果

本発明のフィン構造により、上流および下流間の冷媒の温度上昇を補償することができて、実装密度が高められる。

#### 4. 図面の簡単な説明

第 1 A 図は、本発明のフィン構造を備えた、誘

電性液体冷媒とTCMを含む外箱の側面図である。

第 1 B 図は、第 1 A 図の外箱の正面図である。

第 1 C 図は、第 1 A 図の外箱の平面図である。

第2図は、本発明の一実施例のフィンおよび囲み板の等角投影図である。

第3図は、本発明の別の実施例のフィンおよび  
囲み板の等角投影図である。

第4図は、平面状アレいの形をした本発明の回路パッケージの上面図である。

12・・・外箱、14・・・TCM、15・・・TC  
M回路板、17・・・支持構造体、20・・・冷媒、  
22・・・バッフル、23・・・穴、28・・・上げ床、  
30・・・フィン、37、39・・・電源、38・・・  
記憶素子、43・・・隔壁、50・・・基部表面、5  
2・・・フィン、53・・・囲い板、54・・・流路  
(チャネル)。



